ChinaXiv合作期刊

心理科学进展 2019, Vol. 27, No. 1, 37–50
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2019.00037

橡胶手错觉：拥有感研究的实验范式及其应用*

赵佩琼[1] 陈 巍[1,2] 张 静[3] 平贤洁[2]

([1]绍兴文理学院社会行为与发展科学研究中心) ([2]绍兴文理学院心理学系，绍兴 312000)
([3]杭州电子科技大学心理健康研究所，杭州 310018)

摘 要 橡胶手错觉是一种健康个体将非肉体的假手视为自己真实身体的一部分的体验，这种错觉可以通过同时轻刷被试面前可见的橡胶手及其不可见的真手而产生。橡胶手错觉已成为一种研究身体拥有感的重要范式，其产生机制可以分为“自下而上的认知匹配”与“自上而下的认知匹配”两种加工方式。前者涉及视觉与触觉刺激的同步性；而后者涉及被试心中预存的身体意象与身体图式(包括真假手之间模态特征、位置空间的相似性)。综合上述证据，身体模型假说与个人边缘空间理论进一步为拥有感产生的复杂机制提供了整合两种加工方式的解释。橡胶手错觉范式已经被用于探索精神分裂症患者等特殊被试病理分析、错觉产生和心理特质之间的关系，以及神经外科和术后恢复上。未来的研究应该更加重视范式本身的拓展，应用虚拟现实技术来提高身体模态的仿真效果，利用橡胶手拥有感的易感性作为筛选与预测身体意象障碍疾病的指标。

关键词 身体自我；橡胶手错觉；拥有感；自主感；本体感觉；多感觉整合；虚拟现实
分类号 B842; R395

当手指交叉(触摸一个物体)时，一个物体似乎变成了两个，但我们否认这是两个物体，因为视觉比触觉更权威。然而，如果触觉是独立的，我们实际上应该将一个物体宣称为两个。

——Aristotle，公元前 384–322

1 引言

从亚里士多德时代到 William James 的《心理学原理》，再到 Gibson 的知觉心理学理论，众多的心理现象及其解释不断向我们揭示这样一个事实：身体可能是我们最为熟悉的对象，我们不仅不断地通过它接收外部信息，而且还有通达它的内部通道。伴随以具身认知(embodied cognition)运动为代表的第二代认知科学(second-generation cognitive science)的不断推进，研究者越来越不满于从实验或理论上关注“身体如何因果性地影响认知活动”以及“身体是理解认知的必要条件”等等主题(Glenberg, Witt, & Metcalfe, 2013)。近期，融合第一人称(first-person)与第三人称(third-person)的视角来考察具身主体(embodied subject)的体验或“具身感” (the sense of embodiment) (Carruthers, 2015)吸引了更多心智哲学家、心理学家、认知科学家、神经科学家的目光(周爱保 等, 2013; Braun et al., 2018)。有学者指出，如果没有具身体验的身体自我(bodily self)或身体自我觉知(bodily self-awareness)，个体很难能感受到自身的心智活动，而正是这种体验促进了对自我的知觉，进而有助于自我意识的发展(Balconi & Bortolotti, 2010)。同时，身体自我涉及到的本体感觉(proprioception)与内感受(interoception)对自我意识来说也是最基本的，能够保证将自我和他人区分开来，这构成了社会认知的核心(Palmer & Tsakiris, 2018)。在认知神经科学共同体中，研究者对理解身体进行表征时涉及的心理过程，以及这些过程如何在脑中执行等问题的研究兴趣与日俱增(Jackson, Buxbaum, & Coslett, 2011)。

身体的拥有感(sense of ownership)和自主感

收稿日期：2018-05-11
* 国家社科基金青年项目(16CZX015)；教育部人文社会科学研究青年基金(17YJCZH243)；浙江省大学生科技创新活动计划暨新苗人才计划项目(2017R428018)。
通信作者：陈巍, E-mail: anti-monist@163.com
张静, E-mail: jingzhanghz@163.com

chinaXiv:202303.09270v1

ChinaXiv合作期刊

(sense of agency)是目前身体自我研究的两个热门主题(Braun et al., 2018)。拥有感是指我感觉到自己的身体及其运动，或者我作为运动的主体的前反思经验或感觉(例如，那种我在控制我的动作的经验) (Gallagher, 2000)。拥有感作为自我表征的一种形式，被认为包含三个层次的内容：拥有性的感受(feeling of ownership)、拥有性的判断(judgement of ownership)、拥有性的元表征(meta-representation of ownership) (Synofzik, Vosgerau, & Newen, 2008)，与之有着紧密联系并且在一般体验中难以与之分离的是自主感，它是指某人正在发起、执行、并控制其自身在世界中的意志行动的主观的觉知(Jeannerod, 2003)。即前者是一种个体将自己的身体及其运动归属于“我”的感觉，而后者是一种“我”作为行动发起者的感觉(de Vignemont, 2011)。在正常情况下，这两种感觉是不可分离的，但是在某些特殊的人群，如精神分裂症患者身上又能够经常观察到两者的不协调。例如，病人经常会抱怨某些在他人看来由其本人发起或做出的动作并不受其主观意愿控制。

此外，更能说明问题的当属 Sørensen (2005)设计的异己手实验(the alien-hand experiment)。在实验中，被试的任务是通过一个箱子上的小窗口观察自己戴着手套的手的运动，并同时完成一项看似简单的任务：画一条与已经呈现在纸上的直线平行的直线。实验中，被试未被告知的是，他们面前的箱子并不是看上去的那么简单。箱子里有一面镜子，通过这个巧妙的设计，实验者可以让被试以为他们看到的是自己手的运动，而实际上呈现在他们视线范围内的是实验者的手的运动。因此，在实验过程中，被试会不止一次地发现，简单的画直线的任务会变得出人意料的困难。他们几乎毫无疑问地肯定看到的手是属于自己的，但是他们却不可避免地产生类似于无法对自己的手进行控制的怀疑：“我没有停，不过我与自己的手失去了联系，手在做它喜欢做的，而我对此无能为力。”造成拥有感与自主感分离的原因是：在执行任务的过程中，被试的动作意图提醒其在箱内镜子下面向前移动的就是自己的手，但视觉输入却“否决”了动作意图试图保留的本体感觉信息(proprioceptive information)。最终，被试直接经验到作为“对我”发生的运动(拥有感)，而没有体验到作为“由我”产生的运动(自主感)。不难看出，较之自主感，拥有感更具有“奠基” (*fundierung*)意义(陈巍，郭本禹，2012)。而且，对身体的识别对于成为一个有意识的自我而言至关重要(Suzuki, Garfinkel, Critchley, & Seth, 2013)。目前，与身体有关的认知科学问题主要也集中在拥有感上，如：拥有感的基础是什么？拥有感的功能角色是什么？拥有感如何与身体的感觉、动作以及情感相联系？一个人能对其它的非身体的对象感受到拥有感吗？(de Vignemont, 2011)

从最近几年的研究趋势上也能看出拥有感日益凸显的重要性。在 Web of Science 上以拥有感(sense of ownership)为主题词进行检索，结果如图 1 所示。从中可以直观地看到近年来以拥有感为

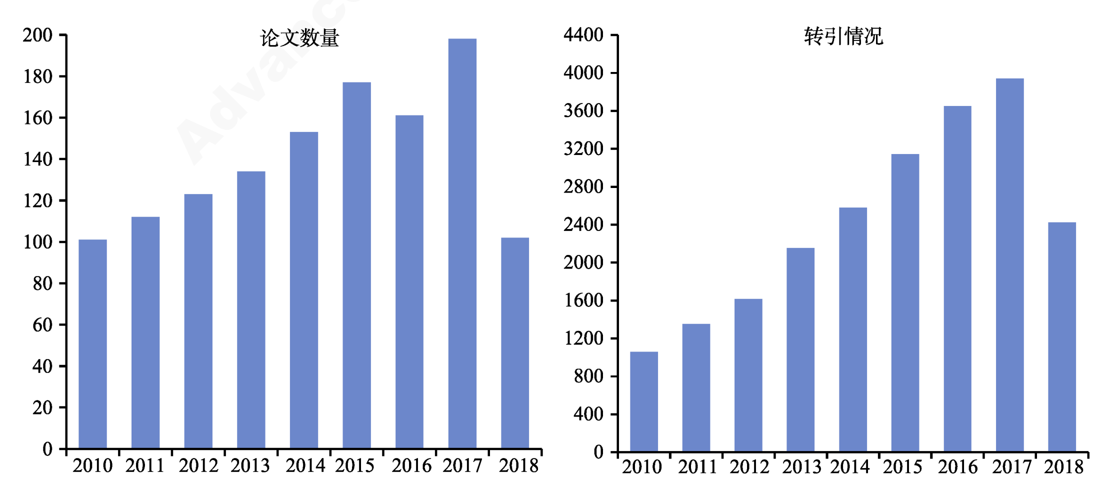


图 1 拥有感的研究现状

chinaXiv:202303.09270v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09270v1

主题的研究在数量与影响上的激增。

目前, 对于拥有感的研究主要集中在两个方面：(1)将一个外部对象体验为某人自己身体一部分的具身性研究; (2)通过对病人体验到身体的一个部分不是自己的缺失的研究(de Vignemont, 2011)。较之只能在少数病理性的特殊被试身上开展的后者, 前者显然更为方便与经济。就此而言, 新的方法与研究方式的引入仍将对该领域的研究产生深远的影响与积极的推动作用(Ionta et al., 2011; 周爱保 等, 2013; Christ & Reiner, 2014)。橡胶手错觉范式便是不可不提的工作。

2　拥有感研究的橡胶手错觉范式

1998 年, Botvinick 与 Cohen 在《自然》上发表的一篇占幅仅一页的实验报告将橡胶手错觉(Rubber Hand Illusion, RHI)这一奇妙的实验范式呈现在了大家面前(Botvinick & Cohen, 1998), 从此也为身体拥有感的研究提供了一种新范式。橡胶手错觉是一种将人造的身体部分感受为自己真实身体的一部分的体验, 实验中通常采用的是人造手。最初的橡胶手错觉包括两个实验。在第一个实验中, 被试坐在一张桌子前, 左胳膊置于桌面上。将一块竖立的挡板置于被试的视线和左胳膊之间, 使得被试无法直接看到自己的左手。将一只人造的与橡皮仿真手置于被试面前的桌面上, 用一块布将被试的左侧肩膀至橡胶手腕部分遮挡起来, 以便让被试能够直视面前的橡胶手而无法看到自己置于挡板左侧的真实手(如图 2 所示)。用两把刷子尽可能同时地轻刷被试被隐藏的左手和他视线内的橡胶手。10 分钟之后结束实验, 要求被试完成一份包含 9 个问题的问卷。结果显示他们感受到的触感不是来自视线外的真正施加在自己真实手上的刷子, 而是源自眼前所能看到的与橡胶手接触的刷子。即, 第一个实验说明了被试通过这种方式产生了一种拥有感的错觉。

在第二个实验中, Botvinick 和 Cohen 把被试的眼睛蒙上, 并要求被试将他们的右手食指放到与看不见的左手食指对齐的位置(左手仍置于与第一个实验中相同的位置)。结果显示被试右手食指所放置的位置会趋于橡胶手对应的位置, 第一个实验持续的时间越久这种偏移就越明显。这一实验中观察到的现象与结果得到了很多研究者的重复与证实, 并在各种不同的条件下得到了验证。Armel 和 Ramachandran 采用皮肤电传导技术(skin conductance responses, SCR)发现当有威胁直接作用于橡胶手上时会有人体内的电流会升高, 说明在人造手上产生了一种“情感反应” (affective resonance)与“情绪卷入” (emotional involvement) (Armel & Ramachandran, 2003)。

尽管对于橡胶手错觉现象产生的原因, 至今仍未有权威的共识, 但很多研究者基本都同意橡胶手错觉与视觉、触觉以及本体感觉间的匹配与交互作用有关。Paladino 等通过实验证明了同步的多感官刺激会导致自我–他者的融合, 存在时间上的一致性(self-other merging) (Paladino, Mazzurega, Pavani, & Schubert, 2010), 也存在跨情景的一致性(Bekrater-Bodmann, Foell, Diers, & Flor, 2012)、跨年龄的一致性(Campos, Richandi, Taati, &



图 2　经典橡胶手错觉实验示意图

ChinaXiv合作期刊

Keshavarz, 2018)。在橡胶手错觉中, 中央神经系统将外部对象即橡胶手归类为身体的一部分(Haans, Kaiser, Bouwhuis, & IJsselsteijn, 2012)。作为这种身体意象基础的认知和感觉运动机制将包括视觉与触觉的整合与身体特定的感觉运动意外事件的发现进行合并(Botvinick, 2004)。不同感觉输入的结合均能够产生拥有感错觉, 在主动运动、被动运动和视触刺激三种条件下, 发现了同样强度的橡胶手错觉(Kalckert & Ehrsson, 2017; Kalckert & Ehrsson, 2014), 用二维的假手和三维假手在皮肤电测试和行为数据上都得出同样的结果(Pasqualotto & Proulx, 2015)。利手和非利手在主客上均能产生同样的橡胶手错觉(Smit, Kooistra, van der Ham, & Dijkerman, 2017), 运动对产生和保持连贯的拥有感起一定作用(Burin et al., 2015), Abdulkarim 等人指出橡胶手错觉实验中, 被试手的主动运动能够对手的位置产生更大的校准, 这种空间位置的校准是基于错误的感觉运动矫正, 与感觉肢体位置校准的知觉机制有关(Abdulkarim & Ehrsson, 2018)。同时错觉的强度似乎会受到橡胶手形状与真实人手相似程度的内部模型的调节, 形态上与人类身体差异较大的较难得到整合从而也更不容易产生错觉, 即要求真假手之间存在匹配程度的一致性, 即橡胶手错觉产生的模态(modality)一致性(Knoblich, Thornton, Grosjean, & Shiffrar, 2006; Riemer et al., 2014)。工具的一致性, 如果触摸橡胶手和真手的工具不同, 同样影响错觉产生(Ward, Mensah & Jünemann, 2015)。错觉的强度会随着橡胶手离解剖学上可能的手的位置的距离的增加呈现非线性的下降, 体现了橡胶手错觉产生的特征一致性(Lloyd, 2007)。此外, 使用橡胶手错觉的范式, 对双脚进行错觉测试, 发现在同步刷的情况下, 只要是在合适的力度下, 同样会有错觉产生, 称为橡胶足错觉(rubber foot illusion) (Flögel, Kalveram, Christ, & Vogt, 2016)。橡胶手错觉的这些特点也为此使其成为身体拥有感研究的重要方法。

3 利用橡胶手错觉范式探索拥有感产生的认知与神经机制

为什么人们会对这样一只不属于自己身体的一部分甚至不和自己身体有任何接触的橡胶手产生错误的拥有感? 自橡胶手错觉范式被报告以来, 这一问题一直困扰着研究者们。对于 Botvinick 与 Cohen 最初将橡胶手错觉归因为视觉、错觉以及本体感觉之间的交互作用, 但这种笼统的解释显然不足以解答所有的疑问。橡胶手错觉实验设计过程中涉及两个关键点, 即橡胶手的形状、特性及其与真手之间的关系。大多数学者都认同前者涉及自下而上的认知匹配, 即刷子的同步性等; 而后者则涉及自上而下的认知匹配, 即被试心中预存的身体意象与身体图式。包括真假手之间模态特征、位置空间的相似性。然而, 至今为止的实验证据显示, 这两种加工方式都有其合理性, 并有可能同时存在(Carruthers, 2013; Braun et al., 2018; Palmer & Tsakiris, 2018)。

3.1 自下而上的匹配(bottom-up matching)

Armel 和 Ramachandran 将经典橡胶手错觉中的假手换成光秃秃的桌面, 同时用刷子刷被试被隐藏的真手和面前的桌面, 并在一定时间之后向桌面施加潜在的疼痛刺激(Armel & Ramachandran, 2003)。实验以皮肤电反应作为因变量指标来考察被试的拥有感错觉体验。与橡胶手错觉中类似的拥有感错觉在他们的实验过程中同样存在。此外, 他们还对橡胶手的位置进行了调整, 当橡胶手被移至距离真手 3 英寸的位置时, 拥有感错觉也依然存在。因此, 他们认为拥有感错觉的出现主要依赖于视觉和触觉刺激的同步性。与此结果类似, Ma 和 Hommel (2015)发现被试对虚拟的木块和气球同样产生了拥有感。并且, 他们进一步解释拥有感错觉中的这种“自下而上的匹配”机制是贝叶斯知觉学习(Bayesian perceptual learning)过程。通过这一过程, 不同模态的两种知觉过程如果恰巧同时发生它们就能被“联结” (bound)起来。换言之, “被看见的”和“被感到的”触摸之所以被“联结”在一起就是因为它们时间上的同步性。功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)发现腹侧前运动皮层(ventral premotor cortex, VPC)在拥有感的产生过程中, 视触刺激融合起着至关重要的作用(Bekrater-Bodmann et al., 2012; Ehrsson, Spence, & Passingham, 2004; Lee & Chae, 2016)。同样的证据来自于 Guterstam 等人发现, 即使同步刷被试的身体和空气, 被试能对空气产生拥有感(Guterstam, Abdulkarim, & Ehrsson, 2015), Guterstam 等通过运动追踪、多重行为测试发现, 尽管刷子和橡胶手存在一定的距离, 但是

chinaXiv:202303.09270v1

ChinaXiv合作期刊

如果同时在半空中(不直接接触)刷橡胶手和隐藏的真手，就会产生一种“磁力”，能够让被试感受到“磁力”触碰的错觉，进而产生橡胶手错觉(Guterstam, Zeberg, Özçiftci, & Ehrsson, 2016)，对身体拥有感之间的神经关联进行研究发现，同步模仿确实能产生对假臂的拥有感，但是真实手臂的拥有感及对假臂的拥有感之间大脑反应是不同的，对真实手臂的拥有感程度激活腹内侧前额皮层，侧枕颞皮层，而不是颞顶叶皮层。相反，同步模仿情况下腹侧前皮层激活程度比不同步模仿和真实手臂更高(Limanowski & Blankenburg, 2016)。

最近的一项研究使用虚拟手错觉实验，以猫爪作为虚拟手对象，把抓住硬币和躲避刀片作为实验任务，测试被试的焦虑感，发现被试在同步条件下比不同步条件产生了更强烈的焦虑感(Chen, Zhang, Qian, & Gao, 2017)。同步性对拥有感存在一定程度的影响也为自下而上的匹配提供了证据。进一步的，张静和陈巍(2016)的实验引入距离参照系，考察了不同参照条件下被试对同一个位置的虚拟手在不同同步情况下的拥有感错觉。研究结果发现：(1)无论是同步性还是距离都会对虚拟手错觉中的拥有感产生影响，即同步比不同步条件下、距离近比距离远条件下拥有感显著；(2)不同的距离参照系对同一位置的拥有感体验影响差异显著，先近后远的呈现方式会减弱错觉而先远后近的呈现方式则会加强错觉。这一发现与身体拥有感是受稳定的身体意象调节的假设并不一致。以上结果都表明，身体意向是可塑的，个体拥有感的产生并不依赖于身体意向，或者身体意向会随着输入信息对个体的身体意向随时进行修改。

但是，除了同步性以外，其它的特性就都不重要吗？根据贝叶斯知觉学习理论可以预测，被试看到的对象不管是类似于身体的一部分还是仅仅只是中性的对象都无关紧要，只要视觉和触觉刺激的同步性存在即可。显然，认为自上而下的知觉匹配才是错觉产生关键的研究者并不这么认为。

3.2 自上而下的匹配(up-bottom matching)

Tsakiris 和 Haggard 设计了这样一个实验：他们将被试所看到的橡胶手进行位置的旋转，让橡胶手的位置从与真手一致的角度开始顺时针旋转90°，或者干脆直接用木棒或对侧手替换掉橡胶手，他们用经典橡胶手实验中真手对于假手的本体感觉的偏移(proprioceptive drift)作为因变量指标考察错觉的强度，实验结果表明，拥有感错觉的强度出现了显著的下降(Tsakiris & Haggard, 2005)。近期，有研究使用虚拟现实技术发现，在屏幕上呈现的 3D 假手也可以诱发橡胶手错觉(Ma & Hommel, 2013)。和 Tsakiris 和 Haggard 的试验相类似, Masakazu 发现假手旋转 0°、45°、90°和 315°时产生的错觉强于 180°、225°和 270°，研究者认为这是因为前四种旋转角度更具解剖学上的合理性(anatomical plausibility) (Ide, 2013)。尽管对于两个实验中不同的因变量指标何者更为合适与客观的争论依旧存在，但是 Tsakiris 和 Haggard 的实验已经很有说服力地挑战了 Armel 和 Ramachandran 所给出的解释。近期有研究者利用多通道脑电技术(multichannel EEG)，研究者设计了三种条件记录刷子刷被试左右手时产生的 EEG 信号，没有假橡胶手(real)、同步刷符合解剖学位置的假手(congruent)、解剖学上不可能位置的假手(incongruent)，结果发现能够产生橡胶手错觉的条件(congruent)与不能产生错觉的条件(incongruent and real)产生的神经机制是不同的，能够真实的感知到假手存在的条件下(incongruent)和其他两种条件也存在神经反应的差异，研究者认为这可能是对有争议的多感觉信息输入时，体感准确性下降了，也是对错觉产生的自上而下机制的支持(Zeller, Litvak, Friston, & Classen, 2015)。无论如何，手的形状的对象会比非手的形状的对象产生更强的错觉，对于皮肤纹理亦是如此(Haans, IJsselsteijn, & de Kort, 2008; Schütz- Bosbach, Tausche, & Weiss, 2009)。同时也有研究表明，橡胶手相对真手的大小也会影响橡胶手错觉的出现，这种现象被称为“肢体大小效应(body size effect)” (van der Hoort, Guterstam, & Ehrsson, 2011)。以上研究结果说明自上而下的认知会影响橡胶手错觉而使其对视知觉的需求比对触觉感觉的需求更大。此外，从内隐启动实验证实对黑人偏见的存在也为自上而下的机制提供了支持，以白人为被试，进行橡胶手错觉实验发现相较于白人橡胶手，对黑人橡胶手产生较小的错觉、错觉产生所需时间较长、本体感觉偏移量小(Lira et al., 2017)。

3.3 “自下而上”和“自上而下”加工机制的整合

综上，对于橡胶手错觉的产生而言，尽管“自

chinaXiv:202303.09270v1

ChinaXiv合作期刊

下而上”机制中视觉和触觉加工至关重要，但“自上而下”机制中所涉及的更高级的认知过程的匹配可能也是不可或缺的。基于这样的认识，一些学者尝试提出整合两种加工机制的理论模型。

Tsakiris 提出了身体模型假说(body-model)的神经认知模型，就是对上述两种加工机制的整合，他认为身体拥有感是作为当前的多感官输入与身体的内部模型之间的交互作用而产生的。首先，一个预先存在的身体模型会对可能是或不是某人身体一部分的对象进行识别。其次，在线的(on-line)身体的结构表征和姿势表征会对多感官信息的整合进行调节，而这种调节会导致视觉和触觉坐标系统的再校准。第三，触觉感觉的最终参照会引起身体拥有感的主观体验。这些过程涉及一系列的神经网络，包括负责对外部对象的不相似性进行检测的右颞顶联结(right temporoparietal junction, rTPJ)、保持对身体的在线表征的次级躯体感觉皮层(somatosensory cortex)、对围绕手的坐标系统的再校准进行编码的后顶叶(posterior parietal)和腹侧前运动皮层(ventral premotor)以及作为身体拥有感的主观体验基础的右后侧岛叶(right posterior insula)。Tsakiris 认为拥有感是会受到他称之为的身体模型的限制(Tsakiris, 2010)。

认知神经研究结果得到了类似的结果，如正电子断层扫描成像(positron emission tomography, PET)证实，皮层的多感官区域，如前运动皮层、上顶叶(superior parietal lobule)以及岛盖(operculum)，似乎对诱发橡胶手的拥有感错觉而言是关键区域，而右侧脑岛，可能还有额叶岛盖(frontal operculum)似乎关系到随后拥有感的产生(Tsakiris, Hesse, Boy, Haggard, & Fink, 2006)。Olivé 等人使用核磁共振技术发现错觉的产生与右侧颞顶联结处、中央后回(bilateral post central gyrus)有关(Olivé, Tempelmann, Berthoz, & Heinze, 2015)。近期的脑电(electroencephalogram, EEG) 研究进一步揭示，橡胶手错觉产生的过程中，电信号先出现于对侧的运动皮层(motorcortex)和次级躯体感觉皮层，之后传至顶叶(Zeller et al., 2015)。Arizono 等人使用近红外光谱技术(near-infrared spectroscopy, NIRS)发现相比较于没有产生橡胶手错觉，错觉产生时氧血红蛋白的含量在右侧额叶和右侧运动皮层达到峰值，并发现二者在错觉产生中存在功能性的联结(Arizono, Ohmura, Yano, & Kondo, 2016)。

此外，对中风病人的脑损伤研究也表明，腹侧前运动皮层在手臂的拥有感的产生中起了重要的作用(Zeller, Gross, Bartsch, Johansen-Berg, & Classen, 2011)。但是，对此仍有不少问题。例如，身体模型表征的人类身体是一般化的还是更为具体的，即表征的是被试个人的身体参数？是否只有一个统一的身体模型还是身体的各个部分都有各自的模型？这些问题尤为重要。如果确实是身体模型在决定什么能够或不能够被体验为某人自己的一部分，那么换言之，只有与身体模型中“给定的”描述一致的对象才能被视为他们身体的一部分。如果身体模型描述了结构上的特征并且如果它在橡胶手错觉产生中起作用，那么在拥有感中，研究者就可以有如下的预期：(1)只有对象看起来和某人身体的一部分一样时才能被体验为其身体的部分(身体相似性限制)；(2)只有完全相同一侧的身体对象才能被体验为身体的部分(同侧肢体限制)；(3)一个人最多只能对两只手产生拥有感(双手限制) (Folegatti, Farnè, Salemme, & de Vignemont, 2012)。迄今已有不少研究给出支持第一种预期的结果(Tsakiris, Carpenter, James, & Fotopoulou, 2010)，如果外部对象不具有身体部分的视觉相似性那么错觉将无法产生。但是，在上文自下而上的认知机制中提起的将经典橡胶手错觉中的假手换成光秃秃的桌面，同时用刷子刷被试被隐藏的真手和面前的桌面，同样产生了橡胶手错觉(Armel & Ramachandran, 2003)。最近的一项虚拟手错觉实验中，使用猫爪同样使被试产生了拥有感(Chen et al., 2017)。对于第二种预期，Tsakiris 和 Haggard 的研究给出的是支持的结果。当把一只橡胶右手置于被试的左手附近并同时用刷子刷两只手时，被试不会产生对橡胶手的拥有感(Tsakiris & Haggard, 2005)。然而，Petkova 和 Ehrsson 却给出了相反的证据。他们让被试把左手置于桌上可视的位置而把右手藏起来，并在被试面前的桌上放上橡胶右手。实验过程中要求被试注视橡胶右手，并同时用刷子轻刷被试真实的左手和橡胶右手。尽管两把刷子刷的并不是同一侧的手，但被试仍报告能感受到来自橡胶手的触觉并表现出本体感觉的偏移。可见同侧肢体限制似乎并不是那么严格(Petkova & Ehrsson, 2009)。对于第三个预测，尽管 Lane 发现，在产生对橡胶手

chinaXiv:202303.09270v1

ChinaXiv合作期刊

的拥有感的时候，被试对其真实的手产生了拥有感缺失(disownership)，至少左手在实验中有这种体验(Lane, Yeh, Tseng, & Chang, 2017)。Della 等人在生理学上也给出了同样的证据(Della Gatta et al., 2016)，以及 Erro 等人认为橡胶手错觉的产生并非是对真实手的拥有感缺失，而是在视觉偏移作用下，把橡胶手和真手整合成为一只手，并且位于两只手之间的位置(Erro, Marotta, Tinazzi, Frera, & Fiorio, 2018)。但 Guterstam 等人的研究给出了反例——多余手错觉(supernumerary hand illusion, SHI) (Guterstam, Petkova, & Ehrsson, 2011)。在这一范式下，被试能够同时看到自己的双手和橡胶手，但是他们还是报告了来自橡胶手和来自自己真实手的触觉的感受，最近的一项研究中被试也感觉自己不仅仅有两只手(Chen, Huang, Lee, & Liang, 2018)。身体模型假说并不能给出令人信服的解释。

除了身体模型，个人边缘空间(peri-personal space, PPS)也被认为对身体部分的自我归因有着重要的作用(Makin, Holmes, & Ehrsson, 2008)。Makin 等人发现看一个对象靠近假手时在后顶皮层(posterior parietal cortex)和右侧枕叶皮层(right lateral occipital cortex)产生的激活与看该对象靠近真手相同位置时产生的激活是相似的。但是如果没有手的呈现或假手位于无法够到的范围时，这种激活是无法观察到的(Makin, Holmes, & Zohary, 2007)。个人边缘空间是一种认知神经科学的概念，它描述的是包围在人体周围的区域，由整合多感官输入的特殊的大脑系统所表征。在拥有感错觉中，源自假手的视觉信息与来自被隐藏的真手的本体感觉输入会被传输至解释手的位置的多感官脑区，一旦橡胶手周围的空间被建立为手的边缘空间，“看到的”刷子在橡胶手上的碰触与“感到的”真手上的碰触就会被整合到一起被调整，进而用于标志视觉−触觉事件在假手上的出现(Makin et al., 2008)。关于被试真手和橡胶手之间的距离，手周围的个人边缘空间非常重要。研究表明，错觉的强度会随着橡胶手离解剖学上可能的手的位置的距离的增加呈现非线性的下降。Lloyd 指出这可能反映了编码手边缘空间的双模态(视觉和触觉)神经元的激活。这可能涉及视觉接收区将外部对象纳入身体图式以及对被试被隐藏真手的触觉接收区的包围(Lloyd, 2007)。

4　利用橡胶手错觉范式开展拥有感的病理学研究及临床实践

除了利用橡胶手错觉范式探索拥有感产生的认知与神经机制外，运用橡胶手错觉范式来研究拥有感的病理学研究，以及它们可能的在临床上的应用，研究者同样寄予了很高的热情与期望。

4.1　拥有感的病理学研究

选择临床患者作为被试开展实验研究是橡胶手错觉病理学研究的尝试之一。Reinersmann 等选用患有复杂性局部疼痛综合症(complex regional pain syndrome, CRPS)的患者作为实验组的被试来研究他们在橡胶手错觉中对与身体相关的刺激的高阶多感官整合能力方面的表现(Reinersmann et al., 2013)。CRPS 患者通过自我报告和皮肤电测试所显示的在错觉体验方面的表现与控制组的健康被试没有差异。这一结果表明尽管在本体感觉和触觉输入方面的加工是受损的，但是这些患者高阶的多感官的整合功能却是没有受影响的。其次，橡胶手错觉似乎是研究自闭症患者多感觉处理的有用工具，自闭症患者更不容易对橡胶手产生拥有感，能够很好地感知准确的本体位信息(Paton, Hohwy, & Enticott, 2012)。自闭症儿童在橡胶手错觉实验中，错觉产生的时间要比正常儿童平均晚 6 分钟，而拥有感、自我与他人的关系是儿童自我意识、模仿以及共情发展的基础，所以表现出更少同情的儿童往往不能感受到很强的错觉，通过橡胶手错觉实验更好地了解自闭症中的身体表征，可能对阐明社交赤字的神经基础并寻找未来的干预方法有重要意义(Cascio, Foss-Feig, Burnette, Heacock, & Cosby, 2012)。研究还发现周期性的视触刺激会增强自闭症患者对橡胶手产生拥有感的强度，因为自闭症这一特殊群体倾向于关注内感受(如心跳)，而周期性的刺激会潜在的和内感受建立联系，进而增强橡胶手错觉产生中的视触刺激融合能力(Ide, & Wada, 2016)。

此外，精神分裂症患者也是橡胶手错觉病理学研究的主要对象之一，已有研究表明精神分裂症患者(SZs)可能会比健康的控制组被试能够体验到更强烈的错觉体验(Mirucka, 2016; Peled, Ritsner, Hirschmann, Geva, & Modai, 2000)。健康个体存在潜在抑制，产生橡胶手错觉的时间比精神分裂症患者要长，但是健康个体能很容易学会

chinaXiv:202303.09270v1

ChinaXiv合作期刊

这种错觉产生的过程，而 SZs 个体因为有认知障碍不能像正常个体一样学会橡胶手错觉产生的过程 (Lev-Ari, Hirschmann, Dyskin, Goldman, & Hirschmann, 2015)。Germine 等对 55 名健康的成年人进行橡胶手错觉实验，通过对被试自我报告的精神病样特征(psychosis-like characteristics)与对橡胶手的身体拥有感的易感性进行分析得出结论，对由感官信息导致的身体表征曲解的易感性可能与精神病或阳性的精神病样特征有关(Germine, Benson, Cohen, & Hooker, 2013)。更直接的证据来自 Asai 等人对分裂型人格特征与橡胶手错觉实验中的表现之间的关系进行的研究。他们检验了橡胶手错觉中的个体差异，包括移情与分裂型的特质，正如之前的研究所认为的精神分裂症患者会更容易产生橡胶手错觉。此外他们的研究结果还表明体验到更强烈的橡胶手错觉的被试可能同时会拥有更强烈的移情与分裂型的人格特征(Asai, Mao, Sugimori, & Tanno, 2011)。橡胶手错觉范式的研究应该能为更好了解精神分裂症等疾病的病因与临床表现提供更多有价值的数据。

4.2 临床应用设想

在临床应用上，橡胶手错觉与拥有感的研究同样也可以被用于探究截肢病人术后对假肢的拥有感。如那些被用于疼痛的感觉运动刺激手术中的皮层电刺激可能也能为进一步理解对错觉的皮层表征提供一个机会，从而可能为个体的身体拥有感的调节提供机会。因此，橡胶手错觉还可能成为神经康复干预中的一个重要的工具。研究者开始发掘橡胶手错觉在研究截肢病人被改变的身体映射的功能方面的潜力，从而使得身体意象干预成为一种有效的康复工具(Ramakonar, Franz, & Lind, 2011)。例如，有研究者提出这样一种设想，是否可以将假肢设计成有触觉感官的，并且使之与躯体的触觉刺激相联系，即人为地在假肢和被试真实身体之间进行类似于橡胶手错觉实验的过程(Edin et al., 2008)。当假肢碰到某个对象时，被试身体的对应部位也会产生触觉体验，这反过来就能够传播一种多感官的信号进而“欺骗”大脑使之相信触觉感觉是来自于人造四肢的，并且是属于当事人的。对肢体的这种拥有感就能够使得假肢更容易也更直接的使用。而且，这种技术也能够降低身体对于人造肢体的不满意度(Ehrsson et al., 2008)。近期 Scandola 等人发现对于四肢瘫痪者，在同步刷脸部和橡胶手时，能够产生对橡胶手的拥有感，这种手脸交换的现象或许对脊髓损伤重建自我感有重要作用(Scandola et al., 2014)。Burin 等人固定健康被试的四肢一段时间，使用橡胶手错觉范式发现在行为指标和问卷测试两个方面均发现固定肢体的被试产生的拥有感错觉要比不固定四肢的被试强(Burin et al., 2017)，以上结果对于神经外科和术后康复都有着重要的意义。

使用弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)技术，橡胶手错觉范式，对脑损伤的患者进行实验，发现未产生橡胶手错觉(RHIF)的病人，腹侧前运动皮层(PMv)或者附属结构损伤，没有产生 RHIF 的躯体失认症(body agnosia)患者中，PMv 及其附属结构没有损伤。躯体失认症的治疗至少可以从 PMv 结构功能的完整性入手，为临床治疗指明方向(Zeller et al., 2011)。最近有研究者使用橡胶手错觉研究强迫症患者的厌恶感，实验首先让被试产生橡胶手错觉，进而在橡胶手上放置恶心刺激，如血液、粪便或呕吐物，同步刷看不见的真手和橡胶手比不同步条件下产生更强的类似强迫症的厌恶感，为治疗强迫症障碍提供了活体暴露干预的可能(Jalal, Krishnakumar, & Ramachandran, 2015)。另外，Siedlecka 发现，产生橡胶手错觉情况下，被试从电刺激中感受到更加疼痛的体验，对刺激的感知部位也向橡胶手方位偏移(Siedlecka, Spychała, Łukowska,Wiercioch, & Wierzchoń, 2018)。行为和主观测量都发现，橡胶手错觉能减轻对冷的不舒服感，产生的错觉强度越强，冷的不舒适感产生的越晚，强度越小。对热、拥有感以及橡胶手错觉下对痛觉的理论和方法论研究提供了可能(Siedlecka, Klimza, Łukowska, & Wierzchon, 2014)。

5 展望

总之，橡胶手错觉作为一个新兴的研究范式，对拥有感的研究产生了很多有意义的影响。因为这一范式有助于进一步了解研究者自身的信息整合加工过程，对拥有感产生过程中多感觉整合的模式，即自上而下和自下而上加工机制进行更深入的探究。此外为了使拥有感研究能够更好地应用于临床的各个方面，橡胶手错觉范式是一个很好的研究对象与工具。并且值得庆幸的是，橡胶

chinaXiv:202303.09270v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09270v1

手错觉与拥有感的研究正在吸引越来越多研究者的关注。其未来可以在如下几个方面继续拓展与深化。

首先，拓展与丰富橡胶手错觉范式及其变式。随着橡胶手错觉实验研究范围的扩大以及引入新的刺激材料的需要，一种新的与橡胶手错觉范式有着异曲同工之妙的实验范式悄然兴起。大量的研究证实通过虚拟现实，即用电脑中的虚拟手代替橡胶手，同样能够实现橡胶手错觉。虚拟手错觉(virtual hand illusion, VHI)中最常用的方法就是将一只虚拟的三维手的图像呈现在被试面前的电脑屏幕上，同时要求被试边移动自己被隐藏的手边观察屏幕上虚拟手的运动。研究表明, VHI 范式能够很好地实现传统 RHI 范式下的效果，即对被试真实的、被隐藏的手施加触觉刺激，同时对屏幕中的虚拟手也施加同步的相同刺激，被试会在实验结束后报告与 RHI 实验中相似的体验(Ma & Hommel, 2013)。如图 3 所示。

甚至有研究表明，即便没有真实的刺激，仅仅通过操纵被试真实手的运动与屏幕中虚拟手的运动之间的时间差同样能产生相同的错觉效果(Sanchez-Vives, Spanlang, Frisoli, Bergamasco, & Slater, 2010)。此外，较之橡胶手错觉范式，无论是从实验设计的严谨性还是从操作过程的便捷性亦或是从刺激材料的广泛性方面，虚拟手错觉范式都具有前者无可比拟的优势。首先，从实验设计来讲，RHI 实验过程中所选用的道具可变性不如 VHI 实验中的大。即 VHI 实验中，可以根据被试的实际情况选取与被试的真实手尽可能接近的虚拟手的图案，而 RHI 实验无法提供如此多样的仿真手。因此, VHI 所能提供的更好的仿真效果将能够更加有利于实验的开展。其次，从操作过程而言，RHI 实验过程所要求的同步刺激只能通过人为的方式实现，且每次实验过程中同步性的程度难免不一，但 VHI 通过电脑控制作用于真实手和虚拟手的刺激不仅可以保证不同被试在各自实验过程中刺激的同步性，而且还能对刺激是否同步对错觉产生效果的影响进行更精确的深入研究。第三，从刺激材料来讲, VHI 中所能选用的刺激材料也较之 RHI 更为丰富，它使得探索新奇的刺激成为可能。VHI 在刺激材料方面的开放程度也使得研究者能够在更大的范围内对自主感与拥有感等进行更深入的研究成为可能。

其次，通过橡胶手错觉中被试拥有感的表现来寻找其与心理特质或人格特征之间的关系也是未来研究值得进一步关注的方向之一。Marotta 等人发现，通过感觉暗示性量表(Sensory Suggestibility Scale,SSS)筛选出的高感受暗示性(High-SSS)的个体在拥有感评分的主观报告上对橡胶手产生更高的拥有感，而对本体感觉偏移得客观测量上并没有发现高感受暗示性和低感受暗示性(Low-SSS)个体间的显著差异。为今后使用橡胶手错觉范式时，被试以及测量指标的选择提供了新的思考(Marotta, Tinazzi, Cavedini, Zampini, & Fiorio, 2016)。关于个体对橡胶手错觉的易感性, Costantini 等(2016)通过实证研究发现，易感性程度和个体对视触等多感觉融合感知的时间分辨率有很大关系，因此后续对橡胶手错觉的神经认知研究中可





图 3　虚拟手错觉实验设备与示范

ChinaXiv合作期刊

以引入时间这一维度。此外，还有研究者发现影响橡胶手错觉产生的本体位偏移、拥有感和拥有感缺失均和个体气质因素有关(Kállai et al., 2015)。因此，心理特质或者人格特征也是使用橡胶手错觉应该考虑的问题。目前对于橡胶手错觉实验一般通过主观的自我报告和客观的本体位偏移、皮肤电测量来评估，未来研究可以从内隐和外显多角度测量错觉产生的强度。

再次，借助橡胶手错觉范式，围绕拥有感对具身认知研究中的相关论题进行系统探索。拥有感的研究对于意识体验的具身性有着重要的意义，橡胶手错觉范式在该领域的应用将能为意识体验的具身性提供更加详实的实证支持。来自具身认知的研究证据指出，意识活动并非只局限于大脑，而且还包含了嵌入在环境之中的身体，van der Hoort 等就通过橡胶手错觉范式论证了上述观点。实验中，被试平躺在床上，同时戴上一副头盔式显示器(head-mounted displays, HMDs)，并将其连接在一套由三脚架架设的照相机上。通过该设备以及这种特殊的处理，被试无法看到自己真实的身体，但是可以通过显示器看到实验者想让他们看到的比自己身体大很多的巨人娃娃和比自己身体小很多的迷你娃娃。实验采用与经典橡胶手错觉范式类似的方法，同时轻触被试真实的身体和被试所能看到的放大或缩小的身体。在此过程中，被试不仅能够将放大的或缩小的身体体验为自己的身体，而且当体验放大的身体时，他们会感觉周围的事物都变小了，反之当体验缩小的身体是，他们会觉得周围的一切都变大了(van der Hoort et al., 2011)。

此外，如前所述与拥有感有着密切关系的自主感，目前还很少有研究使用橡胶手错觉范式对其进行考察。近期一项研究使用虚拟现实技术，应用虚拟手错觉范式，发现相比拥有感，自主感能够更好的预测个体的焦虑水平，男性在自主感上表现更强，可能是由于性别归因风格与移情能力的不同，自主感和拥有感在不同情绪事件中相互影响，压力情景下的危险情况受到的影响要比奖赏条件下更强(Chen, Zhang, Qian, & Gao, 2017)。今后的研究应尽可能地在谨慎区别两者的基础上进一步深入探究其认知与神经机制。例如，是否可以在橡胶手错觉范式中改变一些条件，从而创造出分离自主感与拥有感的实验设计(有自主感而无拥有感、有拥有感而无自主感、既有自主感又有拥有感以及既无自主感又无拥有感)，进而对身体自我觉知、意识体验的具身感等话题进行更加深入的研究。

最后，将橡胶手错觉范式在临床应用上的价值从机制解释转化为康复治疗。前橡胶手错觉范式的应用总体来说还是局限于实验室探究，接下来的目标应该是让橡胶手错觉能够产生更加直接的临床价值(Christ & Reiner, 2014)。已有研究使用虚拟现实手段治疗抑郁症患者，患者佩戴头戴式显示器进入使用 3DsMAX 软件创建的虚拟环境，要求患者按照情景设定练习向虚拟人表达移情，然后从另一个虚拟人角度体验接收同情。结果发现三次情景模拟就能显著降低抑郁严重性，4 周的追踪观察后，其中 4 个被试的临床症状明显减轻(Falconer et al., 2016)。虚拟身体错觉实验模型产生的虚拟身体拥有感体验能够降低社交焦虑，这一错觉影响身体感知和社会认知，为治疗社交焦虑障碍提供新的治疗方法(Guterstam et al., 2015)。已有研究表明使用橡胶手错觉范式开展了有关身体拥有感(Jenkinson, Haggard, Ferreira, & Fotopoulou, 2013; Ocklenburg, Peterburs, Rücklenburg, türkün, 2012)、身体表征(body representation) (Davies, White & Davies, 2013; Davies & White, 2013)、身体意象(body image) (Davies & White, 2013; Davies, White, & Davies, 2013)的研究，而身体拥有感、身体表征与身体意象又与诸如神经性厌食症等疾病有着密切联系的方面。目前，已有研究证实女性厌食症患者比正常女性更容易产生橡胶手错觉(Keizer, Smeets, Postma, van Elburg, &Dijkerman, 2014)。此外，也有研究发现，述情障碍得分高的个体对多重感觉的整合能力较得分低的强，容易产生橡胶手错觉，对错觉易感程度高，述情障碍得分高的个体和异常关注自己身体有关(Grynberg & Pollatos, 2015)。综合上述两个方面的证据，可以考虑将橡胶手错觉中对于橡胶手的拥有感的易感性作为罹患神经性厌食症等饮食障碍的一项指标，从而为更好地筛查出易感人群进行提前干预提供更精确的指标。如图 4 所示。

chinaXiv:202303.09270v1

ChinaXiv合作期刊

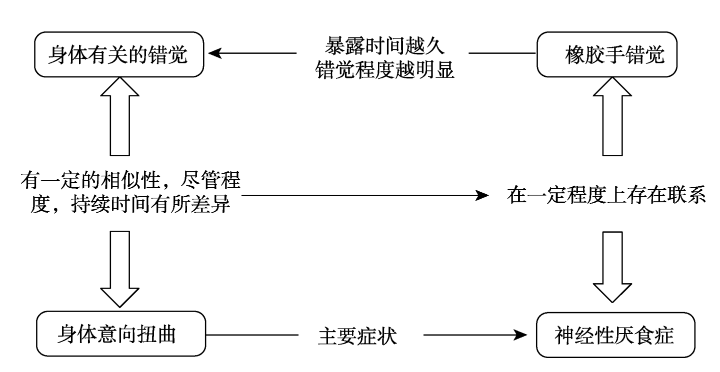


图 4　橡胶手错觉范式对神经性厌食症的预测

参考文献

陈巍, 郭本禹. (2012). 具身–生成的意识经验: 神经现象学的透视. *华东师范大学学报(教育科学版), 30*(3), 60–66.

张静, 陈巍. (2016). 身体意象可塑吗?——同步性和距离参照系对身体拥有感的影响. *心理学报, 48*(8), 933–945.

周爱保, 朱婧, 夏瑞雪, 李世峰, 徐科明, 张荣华, 蔡美君. (2013). 我观故我在？——从橡胶手错觉对自我身体所有权的探讨. *心理科学, 36*(6), 1328–1332.

Abdulkarim, Z., & Ehrsson, H. H. (2018). Recalibration of hand position sense during unconscious active and passive movement. *Experimental Brain Research, 236*(2), 551–561.

Aristotle. (1984). *On dreams*. In Barnes, J. Princeton (Ed.) The complete works of Aristotle. The revised Oxford translation. Volume 1. NJ: Princeton University Press.

Arizono, N., Ohmura, Y., Yano, S., & Kondo, T. (2016). Functional connectivity analysis of NIRS data under rubber hand illusion to find a biomarker of sense of ownership. *Neural Plasticity*, 2016, 6726238.

Armel, K. C., & Ramachandran, V. S. (2003). Projecting sensations to external objects: Evidence from skin conductance response. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 270*(1523), 1499–1506.

Asai, T., Mao, Z., Sugimori, E., & Tanno, Y. (2011). Rubber hand illusion, empathy, and schizotypal experiences in terms of self-other representations. *Consciousness and Cognition, 20*(4), 1744–1750.

Balconi, M., & Bortolotti, A. (2010). *Body and self-awareness: Functional and dysfunctional mechanisms.* In M. Balconi (Ed.), *Neuropsychology of the Sense of Agency* (pp. 173–189). Milano: Springer.

Bekrater-Bodmann, R., Foell, J., Diers, M., & Flor, H. (2012). The perceptual and neuronal stability of the rubber hand illusion across contexts and over time. *Brain Research, 1452*, 130–139.

Botvinick, M. (2004). Probing the neural basis of body ownership. *Science, 305* (5685), 782–783.

Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands ‘feel’touch that eyes see. *Nature, 391*(6669), 756.

Braun, N., Debener, S., Spychala, N., Bongartz, E., Sörös, P., Müller, H. H. O., & Philipsen, A. (2018). The senses of agency and ownership: A review. *Frontiers in Psychology, 9*, 535.

Burin, D., Garbarini, F., Bruno, V., Fossataro, C., Destefanis, C., Berti, A., & Pia, L. (2017). Movements and body ownership: Evidence from the rubber hand illusion after mechanical limb immobilization. *Neuropsychologia, 107*, 41–47.

Burin, D., Livelli, A., Garbarini, F., Fossataro, C., Folegatti, A., Gindri, P., & Pia, L. (2015). Are movements necessary for the sense of body ownership? Evidence from the rubber hand illusion in pure hemiplegic patients. *PLoS One, 10*(3), e0117155.

Campos, J. L., Richandi, G. E. K., Taati, B., & Keshavarz, B. (2018). The rubber hand illusion in healthy younger and older adults. *Multisensory Research, 31*(6), 537–555.

Carruthers, G. (2013). Toward a cognitive model of the sense of embodiment in a (rubber) hand. *Journal of Consciousness Studies, 20*(3–4), 33–60.

Carruthers, G. (2015). Who am I in out of body experiences? Implications from OBEs for the explanandum of a theory of self-consciousness. *Phenomenology and the Cognitive Sciences, 14*(1), 183–197.

Cascio, C. J., Foss-Feig, J. H., Burnette, C. P., Heacock, J. L., & Cosby, A. A. (2012). The rubber hand illusion in children with autism spectrum disorders: Delayed influence of combined tactile and visual input on proprioception. *Autism, 16*(4), 406–419.

Chen, W. Y., Huang, H. C., Lee, Y. T., & Liang, C. (2018). Body ownership and the four-hand illusion. *Scientific Reports, 8*(1), 2153.

Chen, W., Zhang, J., Qian, Y. Y., & Gao, Q. Y. (2017). How disentangled sense of agency and sense of ownership can interact with different emotional events on stress feelings. *Psicologia: Reflexão e Crítica, 30*, 17.

Christ, O., & Reiner, M. (2014). Perspectives and possible applications of the rubber hand and virtual hand illusion in non-invasive rehabilitation: Technological improvements and their consequences. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 44*(7), 33–44.

Costantini, M., Robinson, J., Migliorati, D., Donno, B., Ferri, F., & Northoff, G. (2016). Temporal limits on rubber hand

chinaXiv:202303.09270v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09270v1

illusion reflect individuals' temporal resolution in multisensory perception. *Cognition, 157*, 39–48.

Davies, A. M. A., & White, R. C. (2013). A sensational illusion: Vision-touch synaesthesia and the rubber hand paradigm. *Cortex, 49*(3), 806–818.

Davies, A. M. A., White, R. C., & Davies, M. (2013). Spatial limits on the nonvisual self-touch illusion and the visual rubber hand illusion: Subjective experience of the illusion and proprioceptive drift. *Consciousness and Cognition, 22*(2), 613–636.

de Vignemont, F. (2011). Embodiment, ownership and disownership. *Consciousness and Cognition, 20*(1), 82–93.

Della Gatta, F., Garbarini, F., Puglisi, G., Leonetti, A., Berti, A., & Borroni, P. (2016). Decreased motor cortex excitability mirrors own hand disembodiment during the rubber hand illusion. *Elife, 5*, e14972.

Edin, B. B., Ascari, L., Beccai, L., Roccella, S., Cabibihan, J. -J., & Carrozza, M. (2008). Bio-inspired sensorization of a biomechatronic robot hand for the grasp-and-lift task. *Brain Research Bulletin, 75*(6), 785–795.

Ehrsson, H. H., Rosén, B., Stockselius, A., Ragnö, C., Köhler, P., & Lundborg, G. (2008). Upper limb amputees can be induced to experience a rubber hand as their own. *Brain, 131*(12), 3443–3452.

Ehrsson, H. H., Spence, C., & Passingham, R. E. (2004). That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb. *Science, 305*(5685), 875–877.

Erro, R., Marotta, A., Tinazzi, M., Frera, E., & Fiorio, M. (2018). Judging the position of the artificial hand induces a "visual" drift towards the real one during the rubber hand illusion. *Scientific Reports, 8*(1), 2531.

Falconer, C. J., Rovira, A., King, J. A., Gilbert, P., Antley, A., Fearon, P., ... Brewin, C. R. (2016). Embodying self-compassion within virtual reality and its effects on patients with depression. *British Journal of Psychiatry Open, 2*(1), 74–80.

Flögel, M., Kalveram, K. T., Christ, O., & Vogt, J. (2016). Application of the rubber hand illusion paradigm: Comparison between upper and lower limbs. *Psychological Research, 80*(2), 298–306.

Folegatti, A., Farnè, A., Salemme, R., & de Vignemont, F. (2012). The rubber hand illusion: Two's a company, but three's a crowd. *Consciousness and Cognition, 21*(2), 799-812.

Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences, 4*(1), 14–21.

Germine, L., Benson, T. L., Cohen, F., & Hooker, C. I. L. (2013). Psychosis-proneness and the rubber hand illusion of body ownership. *Psychiatry Research, 207*(1-2), 45–52.

Glenberg, A. M., Witt, J. K., & Metcalfe, J. (2013). From the revolution to embodiment 25 years of cognitive psychology. *Perspectives on Psychological Science, 8*(5), 573–585.

Grynberg, D., & Pollatos, O. (2015). Alexithymia modulates the experience of the rubber hand illusion. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 357.

Guterstam, A., Abdulkarim, Z., & Ehrsson, H. H. (2015). Illusory ownership of an invisible body reduces autonomic and subjective social anxiety responses. *Scientific Reports, 5*(1), 9831–9831.

Guterstam, A., Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2011). The illusion of owning a third arm. *PLoS One, 6*(2), e17208.

Guterstam, A., Zeberg, H., Özçiftci, V. M., & Ehrsson, H. H. (2016). The magnetic touch illusion: A perceptual correlate of visuo-tactile integration in peripersonal space. *Cognition 155*, 44–56.

Haans, A., IJsselsteijn, W. A., & de Kort, Y. A. (2008). The effect of similarities in skin texture and hand shape on perceived ownership of a fake limb. *Body Image, 5*(4), 389–394.

Haans, A., Kaiser, F. G., Bouwhuis, D. G., & IJsselsteijn, W. A. (2012). Individual differences in the rubber-hand illusion: Predicting self-reports of people's personal experiences. *Acta Psychologica, 141*(2), 169–177.

Ide, M. (2013). The effect of "anatomical plausibility" of hand angle on the rubber-hand illusion. *Perception, 42*(1), 103–111.

Ide, M., & Wada, M. (2016). Periodic visuotactile stimulation slowly enhances the rubber hand illusion in individuals with high autistic traits. *Frontiers in Integrative Neuroscience, 10*, 21.

Ionta, S., Heydrich, L., Lenggenhager, B., Mouthon, M., Fornari, E., Chapuis, D., … Blanke, O. (2011). Multisensory mechanisms in temporo-parietal cortex support self-location and first-person perspective. *Neuron, 70*(2), 363–374.

Jackson, S. R., Buxbaum, L. J., & Coslett, H. B. (2011). Cognitive neuroscience of bodily representations: Psychological processes and neural mechanisms. *Cognitive Neuroscience, 2*(34), 135–137.

Jalal, B., Krishnakumar, D., & Ramachandran, V. S. (2015). "I feel contaminated in my fake hand": Obsessive-compulsive-disorder like disgust sensations arise from dummy during rubber hand illusion. *PLoS One, 10*(12), e0139159.

Jeannerod, M. (2003). The mechanism of self-recognition in humans. *Behavioural Brain Research, 142*(1–2), 1–15.

Jenkinson, P. M., Haggard, P., Ferreira, N. C., & Fotopoulou, A. (2013). Body ownership and attention in the mirror: Insights from somatoparaphrenia and the rubber hand illusion. *Neuropsychologia, 51*(8), 1453–1462.

Kállai, J., Hegedüs, G., Feldmann, Á., Rózsa, S., Darnai, G., Herold, R., ... Szolcsányi, T. (2015). Temperament and psychopathological syndromes specific susceptibility for rubber hand illusion. *Psychiatry Research, 229*(1), 410–419.

Kalckert, A., & Ehrsson, H. (2017). The onset time of the ownership sensation in the moving rubber hand illusion. *Frontiers in Psychology, 8*, 344.

Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2014). The moving rubber

ChinaXiv合作期刊

hand illusion revisited: Comparing movements and visuotactile stimulation to induce illusory ownership. *Consciousness and Cognition, 26*, 117–132.

Keizer, A., Smeets, M. A., Postma, A., van Elburg, A., & Dijkerman, H. C. (2014). Does the experience of ownership over a rubber hand change body size perception in anorexia nervosa patients? *Neuropsychologia, 62*, 26–37.

Knoblich, G., Thornton, I., Grosjean, M., & Shiffrar, M. (2006). *Human body perception from the inside out*. New York: Oxford University Press.

Lane, T., Yeh, S.-L., Tseng, P., & Chang, A.-Y. (2017). Timing disownership experiences in the rubber hand illusion. *Cognitive Research, 2*(1), 4.

Lee, I.-S., & Chae, Y. (2016). Neural network underlying recovery from disowned bodily states induced by the rubber hand illusion. *Neural Plasticity, 2016*, 8307175.

Lev-Ari, L., Hirschmann, S., Dyskin, O., Goldman, O., & Hirschmann, I. (2015). The Rubber Hand Illusion paradigm as a sensory learning process in patients with schizophrenia. *European Psychiatry, 30*(7), 868–873.

Limanowski, J., & Blankenburg, F. (2016). That's not quite me: Limb ownership encoding in the brain. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 11*(7), 1130–1140.

Lira, M., Egito, J. H., Dall'Agnol, P. A., Amodio, D. M., Gonçalves, Ó. F., & Boggio, P. S. (2017). The influence of skin colour on the experience of ownership in the rubber hand illusion. *Scientific Reports, 7*(1), 15745.

Lloyd, D. M. (2007). Spatial limits on referred touch to an alien limb may reflect boundaries of visuo-tactile peripersonal space surrounding the hand. *Brain and Cognition, 64*(1), 104–109.

Ma, K., & Hommel, B. (2013). The virtual-hand illusion: Effects of impact and threat on perceived ownership and affective resonance. *Frontiers in Psychology, 4*, 604.

Ma, K., & Hommel, B. (2015). Body-ownership for actively operated non-corporeal objects. *Consciousness and Cognition, 36*, 75–86.

Makin, T. R., Holmes, N. P., & Ehrsson, H. H. (2008). On the other hand: Dummy hands and peripersonal space. *Behavioural Brain Research, 191*(1), 1–10.

Makin, T. R., Holmes, N. P., & Zohary, E. (2007). Is that near my hand? Multisensory representation of peripersonal space in human intraparietal sulcus. *Journal of Neuroscience, 27*(4), 731–740.

Marotta, A., Tinazzi, M., Cavedini, C., Zampini, M., & Fiorio, M. (2016). Individual differences in the rubber hand illusion are related to sensory suggestibility. *PLoS One, 11*(12), e0168489.

Mirucka, B. (2016). The sense of body ownership in schizophrenia: Research in the rubber hand illusion paradigm. *Psychiatria Polska, 50*(4), 731–740.

Ocklenburg, S., Peterburs, J., Rüther, N., & Güntürkün, O. (2012). The rubber hand illusion modulates pseudoneglect. *Neuroscience Letters, 523*(2), 158–161.

Olivé, I., Tempelmann, C., Berthoz, A., & Heinze, H. J. (2015). Increased functional connectivity between superior colliculus and brain regions implicated in bodily self-consciousness during the rubber hand illusion. *Human Brain Mapping, 36*(2), 717–730.

Paladino, M.-P., Mazzurega, M., Pavani, F., & Schubert, T. W. (2010). Synchronous multisensory stimulation blurs self-other boundaries. *Psychological Science, 21*(9), 1202–1207.

Palmer, C. E., & Tsakiris, M. (2018). Going at the heart of social cognition: Is there a role for interoception in self-other distinction? *Current Opinion in Psychology, 24*, 21–26.

Ramakonar, H., Franz, E. A., & Lind, C. R. (2011). The rubber hand illusion and its application to clinical neuroscience. *Journal of Clinical Neuroscience, 18*(12), 1596–1601.

Pasqualotto, A., & Proulx, M. J. (2015). Two-dimensional rubber-hand illusion: The Dorian Gray hand illusion. *Multisensory Research, 28*(1–2), 101–110.

Paton, B., Hohwy, J., & Enticott, P. G. (2012). The rubber hand illusion reveals proprioceptive and sensorimotor differences in autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(9), 1870–1883.

Peled, A., Ritsner, M., Hirschmann, S., Geva, A. B., & Modai, I. (2000). Touch feel illusion in schizophrenic patients. *Biological Psychiatry, 48*(11), 1105–1108.

Reinersmann, A., Landwehrt, J., Krumova, E. K., Peterburs, J., Ocklenburg, S., Güntürkün, O., & Maier, C. (2013). The rubber hand illusion in complex regional pain syndrome: Preserved ability to integrate a rubber hand indicates intact multisensory integration. *Pain, 154*(9), 1519–1527.

Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2009). When right feels left: Referral of touch and ownership between the hands. *PLoS One, 4*(9), e6933.

Riemer, M., Fuchs, X., Bublatzky, F., Kleinböhl, D., Hölzl, R., & Trojan, J. (2014). The rubber hand illusion depends on a congruent mapping between real and artificial fingers. *Acta Psychologica, 152*, 34–41.

Sanchez-Vives, M. V., Spanlang, B., Frisoli, A., Bergamasco, M., & Slater, M. (2010). Virtual hand illusion induced by visuomotor correlations. *PLoS One, 5*(4), e10381.

Scandola, M., Tidoni, E., Avesani, R., Brunelli, G., Aglioti, S. M., & Moro, V. (2014). Rubber hand illusion induced by touching the face ipsilaterally to a deprived hand: Evidence for plastic "somatotopic" remapping in tetraplegics. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 404.

Schütz-Bosbach, S., Tausche, P., & Weiss, C. (2009). Roughness perception during the rubber hand illusion. *Brain and Cognition, 70*(1), 136–144.

Siedlecka, M., Klimza, A., Łukowska, M., & Wierzchoń, M. (2014). Rubber hand illusion reduces discomfort caused by cold stimulus. *PLoS One, 9*(10), e109909.

Siedlecka, M., Spychała, N., Łukowska, M., Wiercioch, K., & Wierzchoń, M. (2018). Rubber Hand Illusion Increases Pain Caused by Electric Stimuli. *The Journal of Pain,*

chinaXiv:202303.09270v1

ChinaXiv合作期刊

19(1), 35–45.

Smit, M., Kooistra, D., van der Ham, I., & Dijkerman, H. (2017). Laterality and body ownership: Effect of handedness on experience of the rubber hand illusion. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition, 22*(6), 703–724.

Sørensen, J. B. (2005). The alien-hand experiment. *Phenomenology and the Cognitive Sciences, 4*(1), 73–90.

Suzuki, K., Garfinkel, S. N., Critchley, H. D., & Seth, A. K. (2013). Multisensory integration across exteroceptive and interoceptive domains modulates self-experience in the rubber-hand illusion. *Neuropsychologia, 51*(13), 2909–2917.

Synofzik, M., Vosgerau, G., & Newen, A. (2008). I move, therefore I am: A new theoretical framework to investigate agency and ownership. *Consciousness and Cognition, 17*(2), 411–424.

Tsakiris, M. (2010). My body in the brain: A neurocognitive model of body-ownership. *Neuropsychologia, 48*(3), 703–712.

Tsakiris, M., Carpenter, L., James, D., & Fotopoulou, A. (2010). Hands only illusion: Multisensory integration elicits sense of ownership for body parts but not for non-corporeal objects. *Experimental Brain Research, 204*(3), 343–352.

Tsakiris, M., & Haggard, P. (2005). The rubber hand illusion revisited: Visuotactile integration and self-attribution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31*(1), 80–91.

Tsakiris, M., Hesse, M. D., Boy, C., Haggard, P., & Fink, G. R. (2006). Neural signatures of body ownership: A sensory network for bodily self-consciousness. *Cerebral Cortex, 17*(10), 2235–2244.

Van der Hoort, B., Guterstam, A., & Ehrsson, H. H. (2011). Being Barbie: The size of one's own body determines the perceived size of the world. *PLoS One, 6*(5), e20195.

Ward, J., Mensah, A., & Jünemann, K. (2015). The rubber hand illusion depends on the tactile congruency of the observed and felt touch. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 41*(5), 1203–1208.

Zeller, D., Gross, C., Bartsch, A., Johansen-Berg, H., & Classen, J. (2011). Ventral premotor cortex may be required for dynamic changes in the feeling of limb ownership: A lesion study. *Journal of Neuroscience, 31*(13), 4852–4857.

Zeller, D., Litvak, V., Friston, K. J., & Classen, J. (2015). Sensory processing and the rubber hand illusion—an evoked potentials study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 27*(3), 573–582.

The rubber hand illusion (RHI): The experimental paradigm of sense of ownership and its application

ZHAO Peiqiong[1]; CHEN Wei[1,2]; ZHANG Jing[3]; PING Xianjie[2]

([1] *Center for Social Behavior and Developmental Science, Shaoxing University, Shaoxing* 312000, *China*)

([2] *Department of Psychology, Shaoxing University, Shaoxing* 312000, *China*)

([3] *Institute of Psychological Health, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou* 310018, *China*)

Abstract: The rubber hand illusion is a perceptual illusion in which participants experience a fake model hand as part of their own body. Such an illusion could be induced by applying synchronous touches to a visible rubber hand and the hidden real hand. Rubber hand illusion has become an important paradigm of bodily sense of ownership, whose mechanism can be further divided into "bottom-up matching" and "top-down matching". The former refers to the synchronicity of visual and tactile stimulations, while the latter refers to the participants' pre-existed body image and body schema (including the modality of real and fake hand, similarity of spatial position). Based on above, body model theory and peri-personal space (PPS) have been proposed to explain the integration of two matching mechanisms of the arouse of body ownership. Rubber hand illusion is used to the exploration of the pathological analysis of schizophrenia, the relationship between illusion and psychological traits, the application in neurosurgery and postoperative recovery. Future studies should pay more attention to the development of paradigm itself, the enhancement of simulated effect by using virtual reality technology, as well as using the sensibility of sense of ownership to filter and predict body image related diseases.

Key words: bodily self; the rubber hand illusion (RHI); sense of ownership; sense of agency; proprioception; multisensory integration; virtual reality

chinaXiv:202303.09270v1